

Manipulator Tangan Robotik pada Proses Sintesis Kimia Berisiko Bahaya

David Indra¹, Tjia May On² dan Suraidi¹

ABSTRACT: Chemical synthesis processes, inworking hazardous chemical in particular, is often done using a safety potluck. Sometimes, the workers' safety is also neglected which accidents when working with hazardous chemicals is barely happened although they have followed the established procedures. These workplace accidents might be incident vapor blasting and get poisoned from hazardous chemical. Actually, this problem can be solved using a glove box. However, this solution is not completely good in consideration of the synthesis process is carried out repeatedly in large quantities in industrial processes. Human-error factor and the their tendency to tired and bored while doing the same work over and over again might trigger the accidents at work. Based on this idea, an automation of dangerous chemical synthesis process inside glove box using robotic arm which wirelessly controlled is constructed. This system can handle several jobs such as initial preparation, pouring the initial chemical into a vessel mix, stirring, and laying vessel mixed into the batch so that these processes can be performed more than once. This system is designed to replace the function of a human hand with a robotic arm inside a glove box that has been equipped with a chemical filling mechanism. This system is created in purpose to prevent accidents and facilitate worker when they work with hazardous chemical. This construction is a PC-controlled system which wirelessly connected. Users can also save their data that has been inserted into a PC so that can be used later. This manipulator capable of doing the work that has been instructed and can stop the system when the temperature is obtained outside the specified limits.

Keywords: chemical synthesis, hazardous chemical, glove box, robotic arm, wireless

ABSTRAK: Proses sintesis kimia, khususnya larutan-larutan kimia yang berbahaya, kerap kali dilakukan menggunakan pengaman seadanya. Faktor keselamatan dari pekerja juga kadangkala terabaikan, sehingga kecelakaan pada saat bekerja dengan bahan-bahan kimia berbahaya tersebut sangat mungkin terjadi walaupun langkah kerja telah sesuai dengan prosedur yang ada. Kecelakaan kerja ini dapat berupa insiden peledakan dan keracunan uap dari larutan kimia berbahaya. Sebenarnya, masalah ini dapat diatasi menggunakan sebuah *glove box*. Akan tetapi, solusi ini belumlah cukup mengingat proses sintesis ini dilakukan secara berulang-ulang dalam jumlah besar pada proses industri. Faktor kelalaian manusia dan kecenderungan manusia untuk lelah dan jenuh saat melakukan pekerjaan yang sama berulang-ulang turut memicu terjadinya kecelakaan pada saat bekerja. Berdasarkan hal ini, maka dirancanglah otomatisasi proses sintesis larutan-larutan kimia berbahaya menggunakan sebuah lengan robotik di dalam *glove box* yang dikendalikan secara *wireless*. Proses yang terjadi di dalam *glove box* ini dalam rangka sintesis bahan-bahan kimia berbahaya dimulai dari persiapan larutan awal, penuangan larutan awal ke dalam bejana campur, pengadukan, dan proses peletakan bejana campur ke dalam *batch* agar proses sintesis kimia dapat dilakukan lebih dari satu kali. Alat yang dirancang akan menggantikan fungsi tangan manusia dengan sebuah lengan robotik yang ditempatkan di dalam sebuah *glove box* yang telah dilengkapi dengan sebuah sistem pengisian larutan. Hal ini bertujuan untuk mencegah terjadinya kecelakaan kerja dan memudahkan pekerja dalam melakukan proses sintesis kimia berisiko bahaya. Pengendalian dari alat ini dilakukan dengan sebuah PC yang terhubung dengan *glove box* secara *wireless*. Pengguna pada akhirnya juga dapat menyimpan data-data yang telah dimasukkan ke dalam PC agar dapat dipergunakan kembali di kemudian hari. Alat yang dirancang mampu melakukan pekerjaan yang telah diinstruksikan dan menghentikan sistem saat diperoleh suhu di luar batas yang telah ditentukan.

Kata kunci: sintesis kimia, larutan berbahaya, *glove box*, lengan robotik, *wireless*

PENDAHULUAN

Dalam beragam bidang pekerjaan yang tersedia, tidak sedikit diantaranya yang tak terlepas dari risiko kecelakaan kerja dimana ada yang berisiko rendah dan ada pula yang berisiko tinggi. Sebagai contoh, karyawan administrasi dalam suatu kantor tentu memiliki risiko kecelakaan kerja yang jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan risiko dari pekerja dalam bangunan dan pabrik maupun dalam laboratorium. Pekerjaan dengan risiko kecelakaan kerja tinggi tentu membutuhkan perhatian khusus untuk dihindari karena dapat membahayakan jiwa manusia maupun menimbulkan kerugian bagi pihak penyelenggara pekerjaan.

Hal ini hendaknya menjadi keinginan dan kewajiban pihak yang bertanggung jawab untuk mencegah atau menghindarinya. Sebagai contoh dalam laboratorium kimia, kegiatan yang dilakukan kerap melibatkan proses reaksi kimiawi yang dapat menimbulkan kejadian yang membahayakan. Misalnya, preparasi larutan asam sulfat encer yang digunakan sebagai pereaksi dalam suatu reaksi asam. Larutan tersebut dihasilkan dari pencampuran asam sulfat pekat dengan air. Dalam proses pencampuran ini, seharusnya asam sulfat pekat yang dimasukkan ke dalam air, bukan sebaliknya (air dimasukkan ke dalam asam sulfat pekat) dikarenakan asam sulfat akan menimbulkan reaksi yang sangat kuat ketika bercampur dengan air. Kelalaian dalam prosedur pekerjaan ini dapat memicu insiden seperti peledakan. [1]

Contoh lainnya adalah uji asam kromat yang dilakukan terhadap suatu larutan untuk menentukan apakah larutan tersebut termasuk golongan alkohol atau fenol. Uji asam kromat ini juga digunakan untuk menentukan apakah suatu larutan bersifat aldehid atau keton. Uji ini dilakukan dengan mencampurkan larutan yang diuji dengan asam kromat, dan mengamati perubahan warna yang terjadi. Asam kromat dan asam sulfat pekat merupakan larutan yang sangat korosif. Percikan larutan-larutan ini yang mengenai suatu jaringan hidup dapat mengakibatkan luka yang sangat serius. Larutan kimia tertentu juga dapat mengakibatkan efek lain yang cukup serius pada tubuh. Sebagai contoh, larutan kloroform yang digunakan pada uji besi (III) klorida. Larutan ini jika terhirup dapat mengakibatkan gangguan kesadaran. Contoh lainnya adalah larutan brom yang digunakan dalam proses pembuatan desinfektan. Larutan ini bersifat karsinogenik jika terhirup. [2]

¹ Jurusan Teknik Elektro Universitas Tarumanagara Jakarta

² Jurusan Teknik Elektro Universitas Trisakti Jakarta

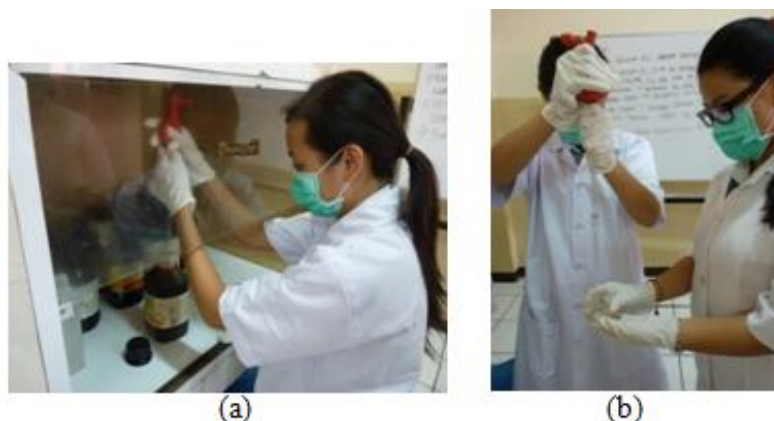
Salah satu cara untuk meminimalkan risiko-risiko berbahaya ini adalah dengan melakukan eksperimen kimia tersebut di dalam *glove box*. Tetapi cara ini pun belum tuntas menyelesaikan masalah yang telah dijelaskan di atas, karena perlu diingat pula bahwa manusia cenderung menjadi lelah dan jenuh dalam melakukan pekerjaan yang sama secara berulang dalam jangka waktu yang panjang. Akibatnya, kondisi tersebut dapat menimbulkan kelalaian atau kesalahan prosedur kerja. Solusi untuk mengatasi permasalahan ini adalah dengan menggunakan sebuah manipulator di dalam *glove box* yang dikendalikan dari luar *glove box* secara elektronik. Dengan demikian, pekerja yang bersangkutan juga dapat terhindar dari risiko-risiko berbahaya tersebut.

Alat yang dibuat dan dirancang pada Tugas Akhir ini merupakan sebuah sistem manipulator tangan robotik yang memiliki fungsi sebagai berikut.

- Manipulator tangan robotik mampu melakukan gerakan-gerakan dasar yang dilakukan pada saat pencampuran larutan kimia seperti menentukan banyaknya larutan kimia yang akan dicampur, mengangkat dan menuangkan larutan di dalam bejana larutan ke dalam bejana pengaduk, mengaduk larutan hasil pencampuran, dan mengorganisir bejana pengaduk berisi larutan hasil pencampuran dan pengadukan.
- Operasi manipulator tangan robot yang berulang-ulang dilakukan secara *programmable* sesuai dengan keinginan pengguna melalui perintah yang dikirimkan secara *wireless* dan disertai *feedback* kepada pengguna jika diperoleh suhu di dalam *glove box* di luar ambang batas suhu yang telah ditentukan.

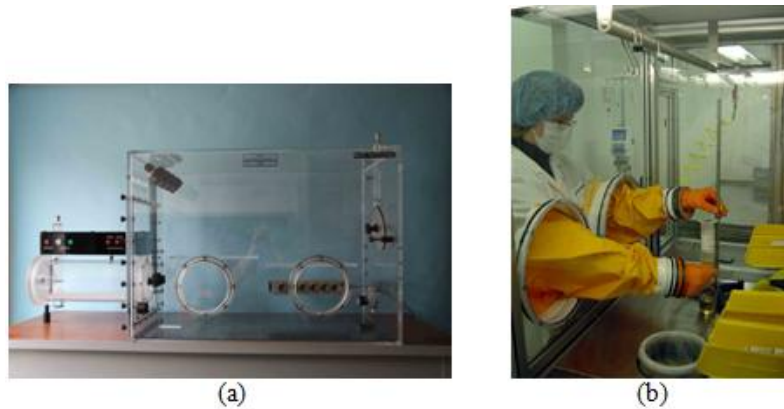
Alat ini dirancang berdasarkan survei-survei lapangan yang telah dilakukan sebelumnya. Survei lapangan dilaksanakan berkaitan dengan jenis-jenis larutan kimia apa saja yang termasuk dalam kategori berbahaya dan penanganannya sejauh ini pada proses sintesis kimia yang beresikotinggi menggunakan aparatus kimia. Survei pertama dilakukan di Sekolah Menengah Atas (SMA) Katolik Abdi Siswa, dimana terdapat praktikum yang melibatkan larutan kimia berbahaya yang mengharuskan praktikan menggunakan pengaman berupa masker dan sarung tangan. Survei kedua dilakukan di PT. BASF Chemical Company dimana terdapat proses sintesis larutan kimia berbahaya di dalam *glove box* yang dilakukan secara berulang-ulang dimana manusia masih terlibat secara aktif di dalamnya.

Survei pertama dilakukan di SMA Katolik Abdi Siswa pada tanggal 26 November 2012. Survei pertama ini dilakukan dengan mewawancarai Ibu Yuni, guru mata pelajaran dan praktikum kimia di SMA Katolik Abdi Siswa. Berdasarkan hasil wawancara dengan beliau dilakukan, diperoleh informasi bahwa beberapa praktikum mata pelajaran kimia yang melibatkan larutan berbahaya seperti *Sulfuric Acid* (H_2SO_4) masih dilakukan secara manual menggunakan sarung tangan untuk menghindari terbakarnya kulit (nekrosis). Gambar 1 (a) menunjukkan proses pengambilan larutan H_2SO_4 dalam praktikum kimia SMA Katolik Abdi Siswa. Gambar 1 (b) menunjukkan proses sintesis larutan kimia berbahaya yang dilakukan oleh praktikan SMA Katolik Abdi Siswa menggunakan pelindung.



■ **Gambar 1.1**(a) Proses Preparasi Larutan H_2SO_4 oleh Praktikan (b) Penggunaan Pelindung pada Proses Pencampuran Larutan H_2SO_4 dengan Air

Survei kedua dilakukan di PT. BASF Chemical Company pada tanggal 29 November 2012. Survei dilakukan dengan mewawancarai Ibu Siti yang bertanggung jawab atas proses produksi di PT. BASF Chemical Company. Berdasarkan hasil wawancara dengan beliau diperoleh informasi bahwa proses produksi beberapa larutan kimia yang berbahaya masih dilakukan secara manual, termasuk proses pemindahan bejana berisi larutan kimia dari satu tempat ke tempat lainnya. Proses ini dilakukan secara berulang-ulang dalam proses produksi pabrik yang sebagaimana telah diketahui. Proses produksi yang melibatkan larutan kimia seperti *Ammonia* (NH_3) cair harus dilakukan di ruangan tertutup seperti *glove box* guna mencegah terhirupnya uap dari larutan NH_3 karena dapat mengakibatkan gangguan pernafasan secara serius. Suhu ruang *glove box* juga harus diperhatikan agar tidak boleh melebihi $70^\circ C$. Gambar 2 (a) menunjukkan contoh *glove box* yang digunakan pada PT. BASF Chemical Company. Gambar 2 (b) menunjukkan proses sintesis NH_3 cair di dalam *glove box* pada PT. BASF Chemical Company.



■ **Gambar 1.2** (a) Contoh *Glove Box* pada PT. BASF Chemical Company (b) Proses Sintesis NH_3 Cair yang Dilakukan di dalam *Glove Box*

Alat yang dibuat berupa suatu manipulator tangan robotik yang menggantikan peran tangan manusia secara langsung. Manipulator ini berada dalam suatu boks kaca guna menghindari risiko tersebarnya uap dari larutan yang akan dicampurkan. Manipulator ini dikendalikan dari luar boks yang transparan secara *wireless*. Dua buah bejana larutan berada di dalam *glove box* dan masing-masing bejana dilengkapi dengan sebuah wadah larutan dan sebuah katup otomatis. Larutan pada bejana diisi dari wadah di atasnya secara otomatis dengan waktu buka tertentu dari katup *solenoid*. Manipulator tangan robot nantinya akan mengangkat kedua bejana larutan awal untuk dituang ke dalam bejana pengaduk.

Proses selanjutnya adalah pengadukan dengan sebuah alas putar. Setelah itu, lengan robotik mengangkat bejana pengaduk yang berisi larutan hasil pengadukan dan pencampuran untuk diletakkan pada rak bejana dan dilanjutkan dengan proses pengangkatan bejana kosong untuk dilakukan proses pencampuran berikutnya. Keseluruhan gerakan katup, lengan robot, dan penggerak alas putar dikendalikan melalui sebuah modul pemroses dengan data yang diperoleh dari *Personal Computer* (PC). Sistem manipulator tangan ini juga dilengkapi dengan sensor suhu untuk menentukan batas suhu yang diizinkan saat manipulator beroperasi yaitu 70°C .

KAJIAN PUSTAKA

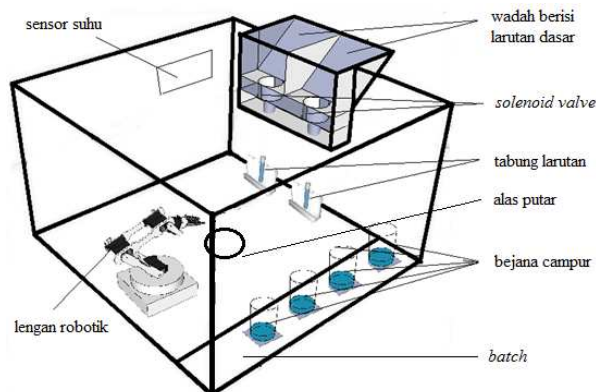
Manipulator tangan robotik ini digunakan dalam proses persiapan, pencampuran, dan pengadukan secara otomatis larutan-larutan kimia yang berbahaya dalam ruang tertutup dengan pengendalian dari luar secara *wireless*. Alat yang dibuat merupakan sebuah *glove box* yang di dalamnya terdapat sebuah lengan robotik sederhana, dua buah tabung larutan dengan sistem pengisian larutan secara otomatis menggunakan *solenoid valve*, empat buah bejana campur sebagai tempat pencampuran, sebuah alas putar yang berfungsi untuk mengaduk larutan hasil pencampuran, dan sebuah sensor suhu yang akan menghentikan proses yang sedang berlangsung jika suhu yang terdeteksi di luar batas yang telah ditentukan (70°C).

Manipulator ini dikendalikan secara *wireless* oleh sebuah PC yang terhubung dengan *transceiver* melalui modul pemroses pada sisi PC berdasarkan data-data yang telah dimasukkan seperti pemilihan penggunaan data lama atau baru, waktu bukaan *solenoid valve*, urutan penuangan antara kedua tabung larutan, waktu pengadukan, dan banyaknya pengulangan untuk proses yang sama. Keseluruhan gerakan di dalam *glove box* seperti proses pengisian larutan ke dalam tabung larutan menggunakan *solenoid valve*, proses penuangan isi dari tabung larutan ke dalam bejana campur, proses pengadukan larutan, dan proses penukaran bejana hasil pengadukan dengan bejana kosong dilakukan secara otomatis melalui modul pemroses pada sisi *glove box*. Sensor suhu pada manipulator ini juga terhubung dengan modul pemroses ini.

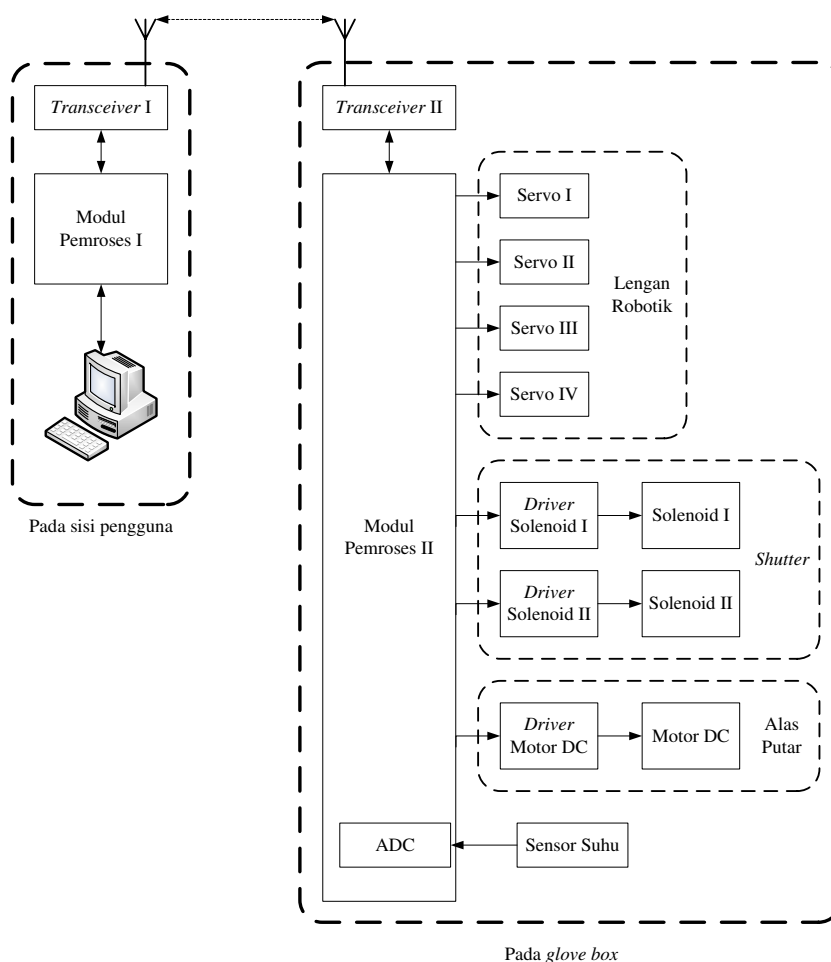
Glove box diperlukan tidak hanya untuk menghindari risiko bahaya bagi orang di sekitarnya, tetapi juga untuk menjaga ruang proses kimia yang terkendali. *Glove box* ini juga dapat digunakan untuk melakukan produksi larutan yang dikehendaki dengan hasil produksi yang disimpan sementara tanpa membuka *glove box*. Hal ini dilakukan dengan menempatkan keempat buah bejana campur tersebut ke dalam sebuah *batch*. Ilustrasi dari alat yang dibuat ditunjukkan pada Gambar 3 berikut ini.

Diagram Blok

Penjelasan dari cara kerja alat berdasarkan deskripsi konsep yang telah dijabarkan sebelumnya dapat direpresentasikan dalam bentuk diagram blok. Pada diagram blok ini terdapat beberapa blok modul seperti PC, modul pemroses, *transceiver*, *solenoid valve*, motor servo, motor DC, dan sensor suhu. Diagram blok keseluruhan sistem ditunjukkan pada Gambar 4 berikut.



■ **Gambar 3.** Ilustrasi dari Manipulator Tangan Robotik di dalam *Glove Box*



■ **Gambar 4.** Diagram Blok Sistem Keseluruhan

Pengguna pada awalnya akan diberi pilihan apakah ingin mengulang proses pencampuran yang telah dilakukan sebelumnya atau membuat proses pencampuran yang baru. Jika pengguna memilih proses pencampuran sebelumnya, maka akan digunakan data-data dari proses pencampuran sebelumnya. Jika pengguna memilih proses pencampuran yang baru, maka pengguna akan diminta untuk memasukkan data-data yang diperlukan seperti waktu bukaan *solenoid valve*, urutan pencampuran (antara tabung reaksi pertama dan tabung reaksi kedua), waktu alas gelas kimia berputar untuk proses pengadukan, dan jumlah pengulangan untuk data yang sama (dibatasi sebanyak empat buah pengulangan).

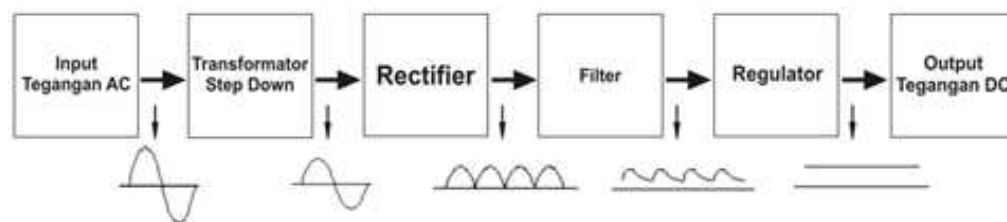
Data yang dimasukkan berupa data digital, sehingga dapat langsung diproses oleh modul pemroses. Data yang telah dimasukkan oleh pengguna akan diterima oleh modul pemroses di luar *glove box* untuk selanjutnya dikirimkan ke modul pemroses di dalam *glove box* melalui masing-masing *transceiver*. Data yang diterima oleh modul pemroses di dalam *glove box* akan diproses untuk menggerakkan kedua buah *solenoid valve* dari wadah larutan, keempat buah servo pada lengan robotik, dan sebuah motor yang digunakan untuk menggerakkan alas putar dari gelas kimia.

Pembacaan suhu di dalam *glove box* dilakukan oleh sebuah sensor suhu. Sensor suhu yang terdapat di dalam *glove box* menghasilkan data analog yang akan diteruskan ke *pin Analog-to-Digital Converter* (ADC) pada

mikrokontroler. Fungsi dari ADC adalah mengubah data analog yang diperoleh dari sensor suhu menjadi data digital yang dapat diproses oleh modul pemroses. Data digital yang masuk ke *pin* ADC selanjutnya akan diolah oleh modul pemroses di dalam *glove box* untuk diteruskan ke modul pemroses di luar *glove box* melalui *transceiver*. Data dari sensor suhu yang diterima oleh modul pemroses di luar *glove box* akan diolah untuk selanjutnya diteruskan ke *Personal Computer* (PC). Data dari sensor suhu dikirimkan secara terus-menerus dan ketika diperoleh data dari sensor suhu di luar batas yang telah ditentukan, pengguna akan diberi pilihan apakah ingin mengakhiri atau melanjutkan gerakan. Keseluruhan proses dinyatakan telah selesai apabila bejana campur telah berada pada posisinya masing-masing.

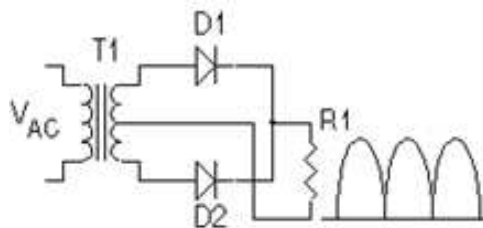
Catu Daya

Catu daya pada alat ini berfungsi untuk memberikan suplai tegangan listrik *Direct Current* (DC) pada seluruh sistem di dalam *glove box*. Catu daya ini berfungsi untuk mengubah tegangan *Alternating Current* (AC) 220 V_{AC} menjadi tegangan keluaran yang dibutuhkan dalam perancangan sistem ini yaitu 5V_{DC} dan 24 V_{DC}. Tegangan 5 V_{DC} digunakan mensuplai rangkaian elektronik, motor DC, motor servo, sensor suhu, dan *transceiver*. Tegangan 24 V_{DC} digunakan untuk mensuplai *solenoid valve*. Rangkaian catu daya direalisasikan menggunakan beberapa komponen seperti transformator yang digunakan untuk menurunkan tegangan 220 V_{AC}, dioda yang digunakan sebagai penyearah tegangan *output* dari transformator, kapasitor yang digunakan sebagai *filter* tegangan searah yang dihasilkan oleh dioda, dan *regulator* yang digunakan untuk meratakan tegangan searah yang telah di-*filter* oleh kapasitor. Tegangan keluaran yang telah melewati regulator telah berupa tegangan DC. Diagram blok catu daya ditunjukkan pada Gambar 5 berikut.



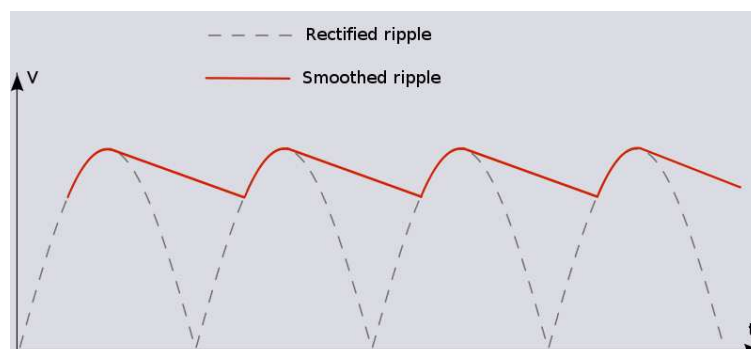
■ Gambar 5. Diagram Blok Cara Kerja Modul Catu Daya [3]

Transformator *step down* digunakan untuk menurunkan tegangan *Alternating Current* (AC) 220 V_{AC} pada jaringan jala-jala listrik sampai dengan nilai tegangan yang diperlukan. Tegangan yang keluar dari transformator *step down* masih berupa tegangan AC sehingga perlu disearahkan dengan dioda penyearah atau *rectifier*. Tegangan DC yang keluar dari *rectifier* berbentuk gelombang penuh seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6 berikut.



■ Gambar 6. Keluaran Tegangan DC dari *Rectifier* [4]

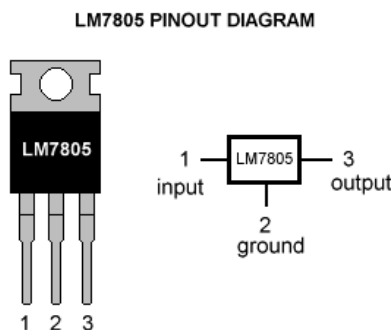
Tegangan DC yang keluar dari *rectifier* dilewatkan melalui sebuah *filter* untuk dihaluskan amplitudonya. Proses filtrasi yang dilakukan mengakibatkan tegangan AC berubah menyerupai gelombang riak yang disebut dengan *ripple*. Tegangan *ripple* ditunjukkan pada Gambar 7 berikut.



■ Gambar 7. Tegangan *Ripple* [4]

Nilai tegangan *ripple* dapat ditentukan menggunakan rumus $V_r = I T/C$ dimana besar tegangan *ripple* berbanding lurus dengan arus beban I dan berbanding terbalik terhadap kapasitansi C . Waktu T di dalam rumus ini diasumsikan sama dengan periode satu gelombang sinus dari jala-jala listrik yang frekuensinya 50Hertz. Jika frekuensi jala-jala listrik yang digunakan sebesar 50 Hertz, maka periode T sebesar 0.01 detik untuk gelombang penuh (1/100 Hertz).

Setelah melewati *filter*, tegangan DC berupa gelombang yang berbentuk *ripple* akan diratakan amplitudonya menggunakan *regulator*. Rangkaian catu daya dinyatakan baik apabila memiliki tegangan *ripple* yang sangat kecil. Catu daya yang digunakan dalam alat ini menggunakan *regulator* yang telah difabrikasi dalam bentuk *integrated circuit* (IC). IC dibedakan menjadi dua jenis yaitu IC dengan tipe 78XX untuk meregulasi tegangan positif dan 79XX untuk tegangan negatif. IC ini juga telah dilengkapi dengan pembatas arus (*current limiter*) dan pembatas suhu (*thermal shutdown*). Konfigurasi *pin* dari IC *regulator* LM7805 ditunjukkan pada Gambar 8 berikut.



■ Gambar 8. Konfigurasi Pin IC Regulator LM7805 [12]

Mikrokontroler

Mikrokontroler pada dasarnya merupakan sebuah sistem komputer berukuran kecil yang memiliki fungsi utama sebagai pengatur tugas pada keseluruhan sistem. Pada mikrokontroler juga dilakukan operasi-operasi kontrol, matematis, tugas-tugas diagnostik, manipulasi data, dan sebagainya. Mikrokontroler menerima seluruh data *input* yang masuk dan mengeksekusi *input* tersebut melalui *output* yang tersedia. Eksekusi tersebut dilakukan sesuai dengan logika program yang telah diunduh ke dalam mikrokontroler.

Berdasarkan jenis instruksi yang digunakan, mikrokontroler secara umum dibagi menjadi dua jenis yaitu mikrokontroler jenis *Complex Instruction Set Computers* (CISC) dan mikrokontroler jenis *Reduced Instruction Set Computers* (RISC). Mikrokontroler jenis CISC memiliki jumlah intruksi yang banyak sehingga lebih bersifat *general pupose*, sedangkan mikrokontroler RISC memiliki jumlah intruksi yang lebih sedikit sehingga pengembangan dan implementasi program lebih mudah. Alat yang dirancang menggunakan mikrokontroler jenis RISC yaitu AVR (*Advanced Versatile RISC*).

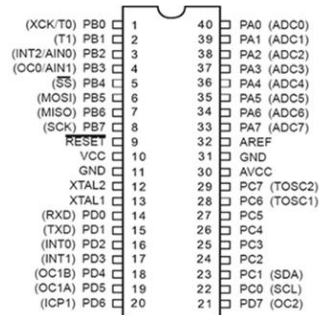
AVR adalah mikrokontroler jenis RISC 8 bit yang diproduksi oleh Atmel. AVR memiliki keunggulan dibandingkan dengan mikrokontroler lain dalam hal eksekusi program yang lebih cepat dikarenakan beberapa intruksi dieksekusi dalam satu siklus *clock*. Kecepatan ini lebih baik jika dibandingkan dengan mikrokontroler MCS51 dengan arsitektur CISC yang membutuhkan 12 siklus *clock* untuk mengeksekusi satu intruksi. Mikrokontroler AVR juga memiliki fitur yang lebih lengkap seperti ADC internal, EEPROM internal, *Timer/Counter*, *Watchdog Timer*, PWM, *port input/output* (I/O), komunikasi serial, komparator, I2C, dan lain-lain. Fitur-fitur ini memudahkan *programmer* dan *desainer* untuk mengembangkan berbagai aplikasi sistem elektronika seperti robot, otomasi industri, peralatan telekomunikasi, dan berbagai keperluan lain. Mikrokontroler AVR dapat dikelompokkan kedalam 4 jenis yaitu ATtiny, AT90Sxx, ATmega, dan AT86RFxx. Klasifikasi dari keempat kelas mikrokontroler ini didasarkan pada ukuran *on-board memory* dan fungsinya.

Salah satu mikrokontroler AVR yang sering digunakan dewasa ini adalah mikrokontroler jenis ATmega. Hal ini dikarenakan mikrokontroler jenis ATmega memiliki banyak fitur pada *port input/output*-nya. Fitur-fitur pada ATmega adalah sebagai berikut.

- Sistem *processor* 8 bit berbasis RISC dengan kecepatan maksimal 16 MHz.
- Ukuran memori *flash* 8KB, SRAM sebesar 512 byte, dan EEPROM sebesar 512 byte (ATmega8535 dan ATmega8).
- *Analog-to-Digital Converter* (ADC) internal dengan resolusi maksimum 10 bit
- *Port* komunikasi serial USART dengan kecepatan maksimum 2.5 Mbps.
- *Central Proccessing Unit* (CPU) yang terdiri dari 32 *register*.
- Unit interupsi *internal* dan *eksternal*.
- *Watchdog timer* dengan osillator *internal*.
- 4-channel *Pulse Width Modulation*.

- *Programmable Serial USART.*
- 6 mode *Sleep* yaitu *Idle*, *ADC Noise Reduction*, *Power Save*, *Power Down*, *Standby*, dan *Extended Standby* untuk menghemat penggunaan daya listrik.

Memori dan *bus* pada ATmega dan mikrokontroler AVR dipisahkan untuk program dan data agar kemampuan dan kecepatan pemrosesan dapat dimaksimalkan. Intruksi dalam memori program dieksekusi dengan metode *pipelining single level* di mana ketika satu intruksi dieksekusi, intruksi berikutnya diambil dari memori program. Hal ini menjadikan intruksi dapat dieksekusi setiap *clock cycle*. Salah satu jenis mikrokontroler jenis AVR yang sering digunakan adalah ATmega 16. ATmega16 memiliki 40 *pin* DIP (*Dual In-line Package*) yang diklasifikasikan ke dalam empat *port* (*Port A*, *Port B*, *Port C*, dan *Port D*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9 berikut.



■ Gambar 9. Konfigurasi Pin ATmega16 [13]

Port A merupakan *directional port* 8-bit I/O dimana setiap *pin*-nya dapat menyediakan *pull-up* resistor internal yang dapat diatur per bit. *Output buffer port A* dapat digunakan untuk mengendalikan *display LED* secara langsung. *Data Direction Register port A* (DDRA) harus di-*setting* terlebih dahulu sebelum *Port A* digunakan. Bit-bit DDRA diisi 0 jika *pin* pada *port A* ingin dijadikan sebagai *input*, atau diisi 1 jika ingin dijadikan sebagai *output*. Selain itu, kedelapan *pin port A* juga dapat digunakan sebagai *input* sinyal analog bagi *A/D converter*. *Pin* pada *port B* memiliki fungsi-fungsi khusus yang ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

■ Tabel 1. Fungsi Khusus Port B

PortPin	Fungsi Khusus
PB0	T0 = timer/counter 0 external counter input
PB1	T1 = timer/counter 0 external counter input
PB2	AIN0 = analog comparator positive input
PB3	AIN1 = analog comparator negative input
PB4	SS = SPI slave select input
PB5	MOSI = SPI bus master output / slave input
PB6	MISO = SPI bus master input / slave output
PB7	SCK = SPI bus serial clock

Port C pin 6 dan 7 (PC6 dan PC7) berfungsi sebagai *oscillator* untuk *timer/counter*, sedangkan fungsi *Port D* ditunjukkan pada Tabel 2.2 berikut.

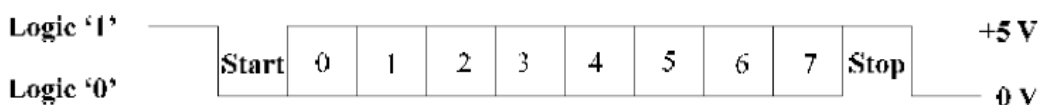
■ Tabel 2. Fungsi Khusus Port D

PortPin	Fungsi Khusus
PD0	RDX (UART input line)
PD1	TDX (UART output line)
PD2	INT0 (external interrupt 0 input)
PD3	INT1 (external interrupt 1 input)
PD4	OC1B (Timer/Counter1 output compare B match output)
PD5	OC1A (Timer/Counter1 output compare A match output)
PD6	ICP (Timer/Counter1 input capture pin)
PD7	OC2 (Timer/Counter2 output compare match output)

Komunikasi Serial

Komunikasi data diperlukan untuk menghubungkan *Personal Computer* (PC) dengan mikrokontroler agar mikrokontroler dapat melakukan fungsi-fungsi yang telah diinstruksikan pengguna melalui PC. Komunikasi data dapat dilakukan secara serial dan paralel. Pengiriman bit-bit pada komunikasi serial tidak dilakukan sekaligus melalui saluran paralel, melainkan satu persatu melalui saluran tunggal. Sinkronisasi antara pengirim dan penerima perlu dilakukan agar data yang diterima sesuai dengan data yang dikirim. Dua jenis komunikasi serial antara lain komunikasi serial sinkron (*synchronous*) dan komunikasi serial asinkron (*asynchronous*). Komunikasi serial sinkron merupakan bentuk komunikasi data serial yang memerlukan sinyal *clock* untuk sinkronisasi. Pada komunikasi data serial secara sinkron, *clock* dikirimkan bersama sama dengan data serial, tetapi *clock* tersebut dibangkitkan sendiri-sendiri baik pada sisi pengirim maupun penerima.

Pada komunikasi serial asinkron, sinyal *clock* tidak lagi dibutuhkan untuk sinkronisasi. Namun pengiriman data ini harus diawali dengan *start* bit dan diakhiri dengan *stop* bit. Sinyal *clock* merupakan *baud rate* (rasio pulsa per detik) dari komunikasi data yang dibangkitkan oleh masing-masing baik penerima maupun pengirim data dengan frekuensi yang sama. Jika nilai *baud rate* berbeda maka tidak akan pernah terjadi komunikasi. Prinsipnya yaitu bahwa penerima hanya perlu mendeteksi *start* bit sebagai awal pengiriman data, selanjutnya komunikasi data terjadi antara dua buah *shift register* yang ada pada pengirim maupun penerima. Setelah penerima memperoleh data delapan bit, penerima akan menunggu adanya *stop* bit sebagai tanda bahwa satu *byte* data telah dikirim dan penerima siap untuk menunggu pengiriman data berikutnya. Ilustrasi dari pengiriman data serial secara asinkron ditunjukkan pada Gambar 10 berikut.



■ Gambar 10. Format Pengiriman Data Serial secara Asinkron [5]

Komunikasi data serial secara asinkron digunakan untuk mengakses komponen-komponen yang mempunyai fasilitas UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*) seperti pada *port* serial PC atau *port* serial mikrokontroler lain. Pada *personal computer* (PC) disediakan *port* serial interface *Recommended Standard number 232* (RS-232) dan *Universal Serial Bus* (USB) sebagai pengirim dan penerima data agar dapat berhubungan dengan perangkat luar.

Universal Serial Bus (USB) adalah jenis komunikasi serial yang terdiri beberapa *Host Controller* yang bertanggung jawab terhadap keseluruhan protokol sistem USB. *Host Controller* mengendalikan penggunaan jalur data terhadap semua peralatan yang terhubung ke sistem USB. *Host Controller* pada awalnya didesain untuk menangani satu peralatan USB saja. Namun seiring dengan perkembangan teknologi, *Host Controller* mampu menangani penggunaan jalur beberapa peralatan USB.

Spesifikasi dari *Host Controller* yang dikembangkan yaitu *Universal/Open Host Controller Interface* (UHCI/OHCI). UHCI/OHCI terdiri dari dua bagian yaitu *Host Controller* dan *Host Controller Driver*. *Host Controller Driver* merupakan *software* yang bertanggung jawab terhadap penjadwalan lalu lintas pada jalur data dengan melakukan transaksi data dalam sistem memori. Sementara itu, *Host Controller* bertugas memindahkan data dari sistem memori ke peralatan USB dengan cara memproses struktur data.

Pengembangan dari UHCI/OHCI adalah *Enhanced Host Controller Interface* (EHCI). EHCI didesain untuk menggunakan memori seefisien mungkin sehingga mampu mendukung peralatan *High Speed USB*. Diagram blok dari sistem USB ditunjukkan pada Gambar 11 berikut.

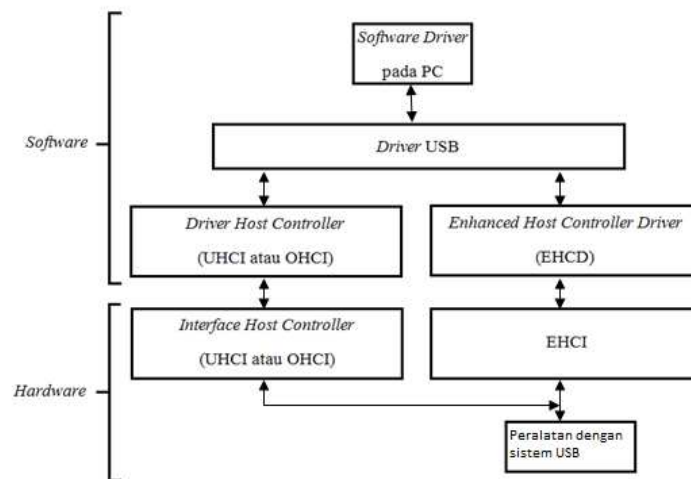
Software driver mengeksekusi perintah *Host Controller* yang sesuai dengan peralatan USB tertentu. *Software driver* secara khusus merupakan bagian dari sistem operasi atau disertakan dalam peralatan USB. *Host Controller* dipisahkan untuk sistem operasi tertentu dengan suatu *software bus driver* yang disebut *driver USB*.

Driver Host Controller berfungsi menyediakan *driver* antara lapisan *hardware Host Controller* dengan *driver USB*. Spesifikasi dari *Driver Host Controller* bergantung pada *interface* dari *hardware USB Host Controller*. Spesifikasi *Host Controller* untuk peralatan *High Speed USB* (dengan *transfer rate* 480 MBps) yaitu *Enhanced Host Controller Interface* (EHCI). Spesifikasi *Host Controller* untuk peralatan *Full Speed USB* (dengan *transfer rate* 12 MBps) dan *Low Speed USB* (dengan *transfer rate* 1.5 MBps) adalah *Universal Host Controller Interface* (UHCI) dan *Open Host Controller Interface* (OHCI).

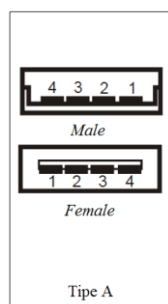
Konektor yang digunakan pada sistem USB dibedakan menjadi 4 jenis yaitu tipe A, tipe B, tipe *mini-A* dan tipe *mini-B*. Konektor USB yang digunakan adalah tipe-A dan ditunjukkan pada Gambar 12 berikut.

Berdasarkan daya listrik yang digunakan, peralatan yang dihubungkan dengan sistem USB dibedakan menjadi dua jenis yaitu peralatan dengan daya listrik independen dan peralatan dengan daya listrik dari *port* USB. Standarisasi USB ditentukan oleh USB-Implementers Forum (USB-IF). Beberapa versi dari USB antara lain versi 0.9, 1.0, dan 1.1. Pada April 2000, USB versi 2.0 diluncurkan dan distandarisasi oleh USB-IF pada

akhir 2001 dan beberapa waktu silam telah mencapai versi 3.0. Kelebihan USB 2.0 yaitu memiliki kecepatan transfer data yang lebih tinggi sekitar 480 Mbps dibandingkan dengan versi sebelumnya USB 1.1 sekitar 12 Mbps dan dukungan USB 2.0 pada peralatan elektronik dewasa ini khususnya PC. Standarisasi USB juga meliputi fungsi dari kabel yang digunakan pada sistem USB. Fungsi kabel berdasarkan warnanya untuk konektor tipe A dan B ditunjukkan pada Tabel 3, sedangkan untuk konektor *mini-A* dan *mini-B* ditunjukkan pada Tabel 4 berikut.



■ Gambar 11. Diagram Blok Sistem USB [6]



■ Gambar 12. Konektor USB Tipe A [6]

■ Tabel 3. Fungsi Kabel USB Tipe A dan Tipe B [6]

PortPin	Warna kabel USB	Fungsi
1	Merah	V_{BUS} 4.4 V-5.25 V
2	Putih	D+
3	Hijau	D-
4	Hitam	Ground

■ Tabel 4. Fungsi kabel USB Tipe *mini-A* dan *mini-B* [6]

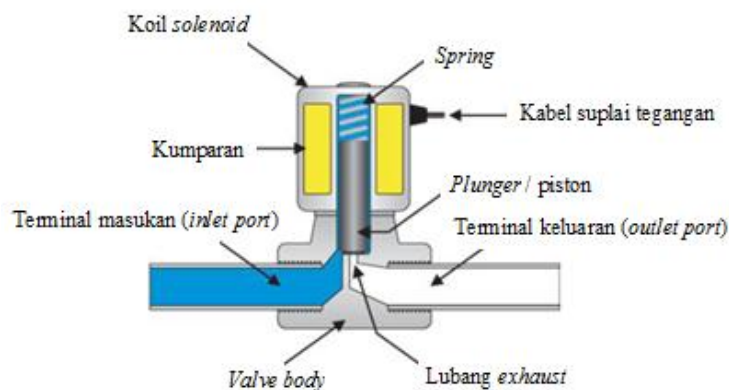
PortPin	Fungsi
1	V_{BUS} 4.4 V-5.25 V
2	D+
3	D-
4	ID
5	Ground

Pin pada konektor *mini-A* dan *mini-B* memiliki fungsi yang sama dengan *pin* pada konektor A dan B, kecuali *pin* ke-4 yang disebut dengan "ID". *Pin* ke-4 ini pada konektor *mini-A* dihubungkan dengan *ground*, sedangkan pada *mini-B* tidak dihubungkan. Tegangan pada sebuah *port* USB sebesar 5 V dengan batas toleransi antara 4.35 V sampai 5.25 V.

Solenoid Valve

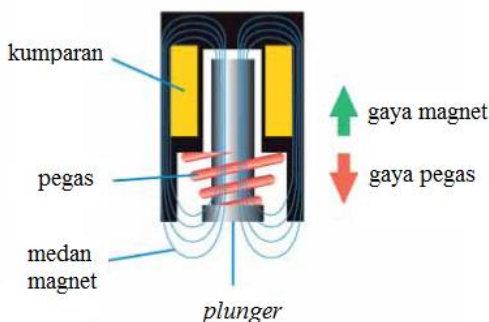
Solenoid valve atau katup solenoida adalah katup yang berfungsi untuk melewatkan aliran cairan yang pergerakannya diatur oleh energi listrik. *Solenoid valve* mempunyai kumparan sebagai penggerak yang berfungsi untuk menggerakkan piston yang dapat digerakkan oleh arus AC maupun arus DC. *Solenoid valve* jenis DC lebih mudah dalam pengaplikasian menggunakan mikrokontroler. *Solenoid valve* mempunyai tiga buah lubang utama yaitu lubang masukan (*inlet*), lubang keluaran (*outlet*) dan lubang *exhaust*. Lubang masukan (*inlet*) berfungsi sebagai terminal cairan masuk. Lubang keluaran (*outlet*) berfungsi sebagai terminal cairan keluar, sedangkan lubang *exhaust* berfungsi sebagai saluran untuk mengeluarkan cairan yang terjebak saat piston bergerak atau berpindah posisi saat *solenoid valve* sedang beroperasi.

Berdasarkan keadaan normalnya, *solenoid valve* dibedakan menjadi dua jenis yaitu *solenoid valve* jenis *normally closed* (NC) dan *solenoid valve* jenis *normally open* (NO). Katup *solenoid valve* jenis NC tertutup ketika tidak ada arus listrik yang mengakibatkan cairan dari lubang *inlet* tidak dapat menuju lubang *outlet*. Katup *solenoid valve* jenis NO terbuka ketika tidak ada arus listrik yang mengakibatkan cairan dari lubang *inlet* dapat langsung menuju lubang *outlet*. Struktur dari *solenoid valve* ditunjukkan pada Gambar 13 berikut.



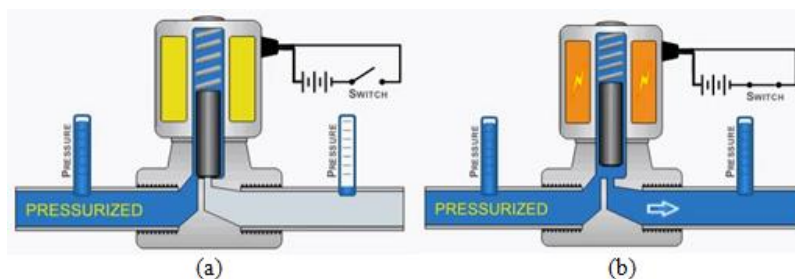
■ Gambar 13. Struktur *Solenoid Valve*

Plunger bergerak berdasarkan resultan gaya yang diperoleh dari dua buah gaya yang bekerja dalam arah yang berlawanan. Gaya ini meliputi gaya pegas dan gaya magnet yang dihasilkan dari arus yang melalui koil. Kedua gaya yang bekerja pada *solenoid valve* ditunjukkan pada Gambar 14 berikut.



■ Gambar 14. Gaya yang Bekerja pada *Solenoid Valve*

Prinsip kerja dari *solenoid valve* adalah sebagai berikut. Koil berperan sebagai penggerak dimana ketika koil mendapat tegangan, maka koil tersebut akan berubah menjadi medan magnet yang menggerakkan piston pada bagian dalamnya sehingga katup menjadi terbuka (pada *solenoid valve* jenis NC). *Solenoid valve* mempunyai tegangan kerja 100V_{AC}, 200 V_{AC}, 5 V_{DC}, 12 V_{DC}, dan 24 V_{DC}. Ilustrasi dari cara kerja *solenoid valve* ditunjukkan pada Gambar 15 berikut.

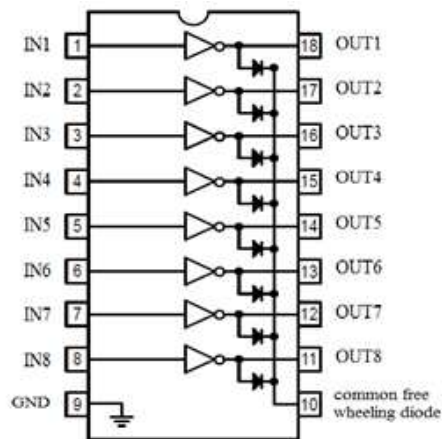


■ Gambar 15. a. Ilustrasi *solenoid valve* jenis NC ketika posisi switch off dan b. posisi switch on

Driver Solenoid Valve

Driver solenoid valve digunakan untuk mengontrol waktu bukaan *solenoid valve*. *Driver* ini akan menyelaraskan tegangan dan arus pada *solenoid valve* dengan modul pemroses. *Solenoid valve* akan terbuka saat *driver* diberi logika *high* dan tertutup saat tidak ada *input* dari modul pemroses (logika *low*). *Driver solenoid valve* difabrikasi menjadi sebuah *Integrated Circuit (IC)* dengan tipe yang seringkali digunakan adalah ULN2803.

IC ULN2803 merupakan IC yang di dalamnya terdapat susunan transistor yang terpasang secara Darlington dan dapat menangani arus sebesar 500 mA. IC ULN2803 terdiri dari delapan buah transistor yang bekerja secara terpisah sehingga beban yang dapat dipasang pada ULN2803 dapat mencapai 8 buah dan dapat dihubungkan secara langsung dengan modul pemroses. Rangkaian dan konfigurasi *pin* dari IC ULN2803 ditunjukkan pada Gambar 16 berikut.

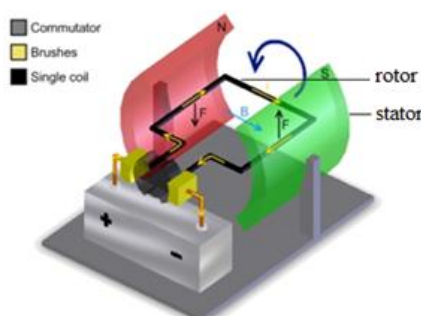


■ Gambar 16. Konfigurasi *Pin* IC ULN2803

Motor DC

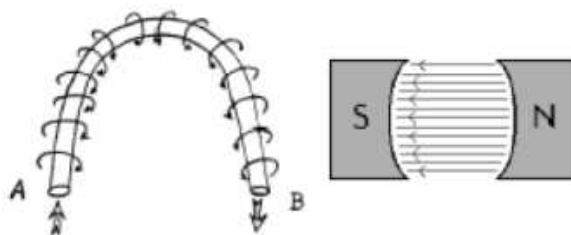
Motor merupakan perangkat elektromagnetik yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Perubahan ini dilakukan dengan mengubah tenaga listrik menjadi magnet dengan prinsip elektromagnetik. Kutub-kutub dari magnet dengan polaritas yang sama akan saling tolak-menolak dan kutub-kutub yang dengan polaritas yang tak sama akan saling tarik-menarik. Jika sebuah magnet ditempatkan pada sebuah poros yang dapat berputar dan magnet yang lain pada suatu kedudukan yang tetap, maka akan diperoleh suatu pergerakan yang menghasilkan energi mekanik. Secara umum motor listrik dapat dibagi menjadi motor *alternating current (AC)* dan motor *direct current (DC)*. Motor DC memiliki keunggulan jika dibandingkan dengan motor AC yaitu kemudahan dalam mengatur dan mengontrol kecepatan putar rotornya. Ada beberapa cara untuk dapat mengendalikan kecepatan motor DC di antaranya dengan mengatur lebar pulsa tegangan setiap detiknya yang diberikan pada motor DC atau pun secara manual dengan mengatur jumlah arus dan tegangan yang diberikan pada motor DC.

Motor DC merupakan salah satu jenis motor listrik yang bergerak dengan menggunakan arus searah. Kumparan magnet pada motor DC disebut stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar pada motor DC disebut rotor (bagian yang berputar) atau terkadang disebut juga angker dinamo. Jika terjadi putaran pada rotor dalam pada medan magnet, maka akan timbul tegangan gaya gerak listrik (GGL) yang berubah-ubah arahnya setiap setengah putaran. Arus dari catu daya DC menuju lilitan melalui sikat menyentuh komutator dua segmen yang terhubung dengan masing-masing ujung lilitan. Bentuk motor yang paling sederhana adalah motor dengan kumparan satu lilitan yang bisa berputar bebas di antara kutub-kutub magnet permanen yang ditunjukkan pada Gambar 17 berikut.



■ Gambar 17. Struktur Motor DC Sederhana [7]

Prinsip kerja motor DC adalah sebagai berikut. Jika arus melewati suatu konduktor, timbul medan magnet disekitar konduktor. Arah medan magnet ditentukan oleh arah aliran arus pada konduktor. Aturan genggaman tangan kanan dapat dipakai untuk menentukan arah garis fluks disekitar konduktor. Jari-jari tangan kanan saat menggenggam menunjukkan arah garis fluks dengan ibu jari menunjukkan arah aliran arus. Medan magnet pada konduktor hanya dapat diperoleh jika ada arus yang mengalir pada konduktor tersebut. Ilustrasi medan magnet pada konduktor ditunjukkan pada Gambar 18 berikut.



■ **Gambar 18.** Medan Magnet Mengelilingi Konduktor di antara Dua Kutub [8]

Jika konduktor berbentuk U (rotor) diletakkan di antara kutub utara dan selatan dalam medan magnet yang kuat, konduktor akan berinteraksi dengan magnet kutub. Lingkaran A dan B merupakan hasil pelengkungan dari konduktor (*looped conductor*). Hal ini mengakibatkan kedua sisi loop akan mendapatkan gaya pada arah yang berlawanan. Arus mengalir masuk melalui ujung A dan keluar melalui ujung B. Medan konduktor A yang searah jarum jam akan memperkuat medan pada kutub dan menciptakan medan yang kuat di bawah konduktor. Konduktor akan berusaha bergerak ke atas untuk keluar dari medan kuat ini. Medan konduktor B yang berlawanan arah jarum jam juga akan memperkuat medan pada kutub dan menciptakan medan yang kuat di atas konduktor. Konduktor akan berusaha bergerak turun agar keluar dari medan yang kuat tersebut. Gaya-gaya tersebut akan membuat rotor berputar searah jarum jam.

Pada motor DC, daerah kumparan medan yang dialiri arus listrik akan menghasilkan medan magnet dengan arah tertentu. Konversi dari energi listrik menjadi energi mekanik (motor) maupun sebaliknya berlangsung melalui medan magnet sehingga peran medan magnet selain berfungsi sebagai tempat untuk menyimpan energi juga sekaligus sebagai tempat berlangsungnya proses perubahan energi. Alat ini menggunakan motor DC sebagai penggerak alas putar pada gelas kimia dalam proses pengadukan.

Driver Motor DC

Driver motor DC pada alat ini digunakan untuk mengontrol pergerakan motor DC sebagai pengaduk larutan hasil pencampuran. *Driver* motor DC ini menghubungkan motor DC dengan modul pemroses yang berfungsi untuk mengontrol pergerakan motor DC. *Driver* motor DC juga berfungsi untuk menyelaraskan tegangan dan arus pada motor DC dengan modul pemroses. *Driver* motor DC menggerakkan motor DC dalam dua arah yaitu berputar *clockwise* (searah jarum jam) dan *counter clockwise* (berlawanan arah jarum jam). *Driver* motor DC dapat direalisasikan dengan sebuah transistor dan tipe transistor yang umum digunakan adalah transistor PNP BD438. Konfigurasi *pin* dari transistor PNP BD438 ditunjukkan pada Gambar 19 berikut.

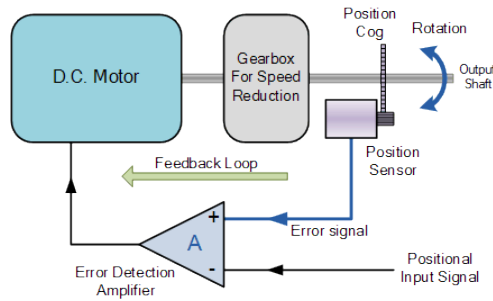


■ **Gambar 19.** Konfigurasi *Pin* Transistor PNP BD438

Motor Servo

Motor servo adalah motor dengan sistem umpan balik tertutup di mana posisi dari motor akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada di dalam motor servo. Motor servo terdiri dari sebuah motor DC, serangkaian *gear*, potensiometer dan rangkaian kontrol. Potensiometer bersama dengan rangkaian kontrol berfungsi untuk mendeteksi besarnya sudut pada saat motor *servo* berputar. Jika *output* motor *servo* berada dalam sudut yang benar maka motor listrik akan berhenti berputar. Jika rangkaian kontrol mendeteksi sudut yang tidak tepat pada *output* maka motor listrik akan berputar ke arah yang benar sampai terdeteksi sudut yang tepat. Diagram blok dari motor *servo* ditunjukkan pada Gambar 20 berikut.

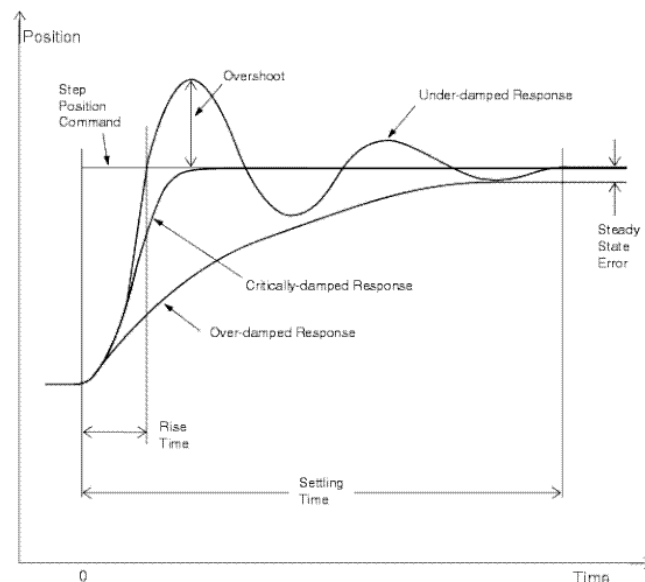
Motor servo memiliki dua jenis yaitu motor servo standar dan motor servo *continous*. Motor servo *continuous* dapat berputar sebesar 360 derajat. Sedangkan motor servo tipe standar hanya mampu berputar 180 derajat. Motor servo standar sering dipakai pada sistem robotika misalnya untuk membuat robot *arm* (lengan robot) sedangkan motor servo *continous* sering digunakan untuk membuat robot *mobile*.



■ Gambar 20. Diagram Blok Motor Servo

Rangkaian *feedback* pada motor servo berfungsi untuk mengendalikan motor servo pada posisi yang diinginkan. Saat motor servo telah mencapai posisi yang diperintahkan, rangkaian *feedback* ini akan meredam sisa momentum dari motor servo secara berulang kali hingga diperoleh posisi yang sesuai. Peredaman momentum ini digambarkan dalam sebuah kurva *step response* dari motor servo. Tiga jenis peredaman momentum yang umum dijumpai yaitu *under-damped*, *critically-damped*, dan *over-damped*. Kurva ini memiliki empat parameter kinerja utama yaitu *overshoot*, *rise time*, *settling time*, dan *steady-state error*.

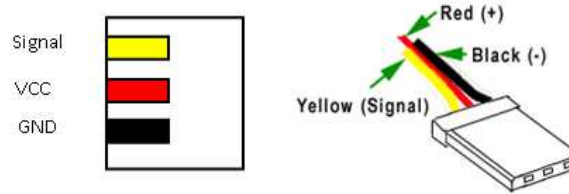
Overshoot merupakan jarak servo motor melewati titik *setpoint* (titik yang ditentukan) yang mengindikasikan bahwa peredaman momentum ini *under-damped* dan tidak diinginkan. Hal ini dikarenakan bertambahnya *settling time* walaupun *rise time* juga bertambah. *Rise time* merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai beberapa persen dari nilai akhir untuk pertama kali, sedangkan *settling time* merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan *envelope* yang dekat dengan nilai akhir. *Steady-state error* merupakan kesalahan minimum posisi setelah *settling time*. Kurva *step response* dari ketiga jenis peredaman momentum ini ditunjukkan pada Gambar 21 berikut.



■ Gambar 21. Kurva *Step Response* dari Motor Servo

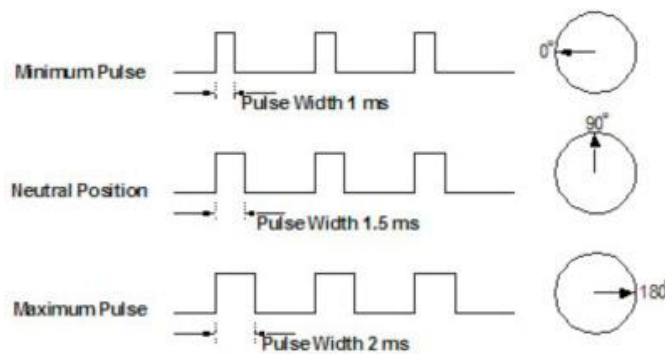
Berdasarkan Gambar 2.19 tersebut diperoleh bahwa motor servo yang ideal adalah motor servo dengan peredaman momentum *critically-damped* karena memiliki waktu yang tercepat untuk mencapai posisi yang ditentukan. Waktu peredaman momentum ini merupakan faktor penting pada motor servo selain torsi dan kecepatan putar dari sebuah motor servo. Waktu peredaman momentum yang kecil menjadikan motor servo dapat dengan cepat memperoleh kestabilan pada posisi yang ditentukan.

Motor servo memiliki dua keunggulan utama yang menjadikannya sering digunakan di bidang robotika. Pertama, motor servo memiliki putaran yang lambat dan torsi yang kuat berkat adanya sistem *gear*. Sistem ini berbanding terbalik dengan motor DC biasa pada umumnya yang memiliki putaran cepat namun torsi rendah. Kedua, sistem kontrol untuk motor servo relatif lebih sederhana. Hal ini berbeda dengan motor *stepper* atau motor DC pada umumnya yang dikontrol dengan sebuah *driver*. Hal ini mengakibatkan digunakannya teknik *Pulse Width Modulation* (PWM) atau modulasi lebar pulsa. *Pin* keluaran pada motor servo ditunjukkan pada Gambar 22.



■ Gambar 22. Konfigurasi PinMotor Servo

Kontrol terhadap motor servo dilakukan dengan memberi pulsa-pulsa melalui *port signal*. Perpindahan sudut yang terjadi pada *output* diatur berdasarkan lebar pulsa yang dikirim. Sebagai contoh, dengan lebar pulsa 1.5 *milisecond* (ms) motor *servo* akan berputar ke posisi sudut 90 derajat terhadap sumbu x atau biasa disebut dengan *neutral position*. Jika lebar pulsa yang dikirim lebih kecil dari 1.5 ms, maka motor *servo* akan berputar *counter clock wise* terhadap *neutral position*. Jika lebar pulsa yang dikirim lebih besar dari 1.5 ms, maka motor *servo* akan berputar *clockwise* terhadap *neutral position*. Ilustrasi perubahan sudut pada *motor* berdasarkan lebar pulsa yang dikirim ditunjukkan pada Gambar 23 berikut.

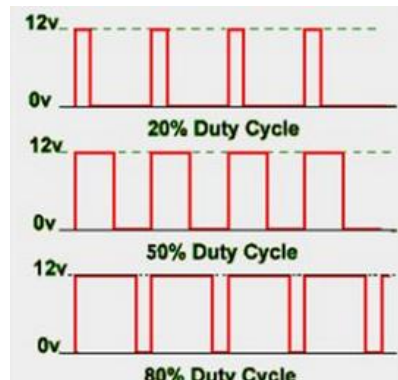


■ Gambar 23. Ilustrasi Perubahan Sudut pada Motor Servo

Pulse Width Modulation (PWM)

PWM biasanya digunakan untuk mengatur kecepatan perputaran motor dengan cara mengatur persentase lebar pulsa *high* terhadap periode dari suatu sinyal persegi dalam bentuk tegangan periodik yang diberikan ke motor sebagai sumber daya. Semakin besar perbandingan lama sinyal *high* dengan perioda sinyal maka semakin cepat motor berputar.

Sinyal PWM dapat dibangkitkan dengan dua cara yaitu dengan metode analog (rangkaiian *operational amplifier*) atau dengan metode digital. Penggunaan metode analog menghasilkan perubahan PWM yang sangat halus, sedangkan perubahan PWM pada metode digital dipengaruhi oleh resolusi dari PWM itu sendiri. Misalkan sebuah PWM digital memiliki resolusi 8 bit. Hal ini berarti PWM tersebut memiliki resolusi 2^8 atau 256 dimana keluaran PWM tersebut memiliki 256 variasi mulai dari 0-255 yang mewakili *duty cycle* 0-100%. *Duty cycle* dari sinyal PWM ditunjukkan pada Gambar 24 berikut.



■ Gambar 24. Duty Cycle pada PWM [9]

Duty cycle dari sinyal PWM dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$Duty\ cycle = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} \times 100\% \dots\dots\dots 2.1$$

dengan t_{on} adalah periode saat pulsa *high* dan t_{off} adalah periode saat pulsa *low*. *Duty cycle* 100% artinya sinyal tegangan pengatur motor dilewatkan seluruhnya. Jika tegangan catu 100V, maka motor akan mendapat tegangan 100V. *Duty cycle* 50 % artinya tegangan pada motor hanya akan diberikan 50% dari total tegangan pengatur motor.

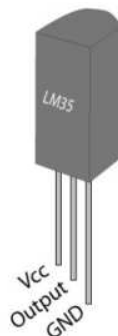
Sensor Suhu

Secara umum sensor didefinisikan sebagai alat yang mampu menangkap fenomena fisika atau kimia kemudian mengubahnya menjadi sinyal listrik. Fenomena fisik yang mampu menstimulus sensor untuk menghasilkan sinyal listrik meliputi temperatur, tekanan, gaya, medan magnet cahaya, pergerakan dan sebagainya. Sensor suhu adalah alat yang digunakan untuk merubah besaran suhu menjadi besaran listrik.

Karakteristik sensor suhu ditentukan dari sejauh mana sensor tersebut memiliki kemampuan yang baik dalam mendeteksi setiap perubahan suhu yang ingin dideteksinya. Kemampuan mendeteksi perubahan suhu meliputi:

1. Sensitivitas yang berkaitan dengan ukuran seberapa sensitif sensor terhadap suhu yang dideteksinya. Sensor yang baik akan mampu mendeteksi perubahan suhu meskipun kenaikan suhu tersebut sangat sedikit.
2. Waktu respon dan waktu *recovery* yang merupakan waktu yang dibutuhkan sensor untuk memberikan respon terhadap suhu yang dideteksinya. Semakin cepat waktu respon dan waktu *recovery* maka semakin baik sensor tersebut.
3. Stabilitas dan reliabilitas yang menunjukkan sejauh mana sensor dapat secara konsisten memberikan besar sensitivitas yang sama terhadap suhu.

Pada umumnya, penggunaan sensor suhu disesuaikan dengan jenis-jenis material yang akan diukur. Hal ini dikarenakan masing-masing sensor suhu memiliki batasan suhu yang dapat diukur. Beberapa jenis sensor suhu yang umumnya ditemui antara lain *thermocouple*, *thermistor*, *Resistance Temperature Detector* (RTD), dan sensor suhu dalam bentuk *integrated circuit* (IC). Tipe IC yang digunakan sebagai sensor suhu adalah LM35 yang berfungsi untuk mengubah suhu menjadi tegangan tertentu yang sesuai dengan perubahan suhu dari sensor tersebut. Konfigurasi *pin* dari sensor suhu IC LM35 ditunjukkan pada Gambar 25 berikut.



■ Gambar 25. Konfigurasi *Pin* Sensor Suhu IC LM35 [10]

Analog-to-Digital Converter (ADC)

Analog-to-Digital Converter (ADC) adalah suatu rangkaian yang mentransformasikan suatu *input* analog berupa tegangan menjadi keluaran dalam bentuk digital (*binary*). Keluaran biner tersebut akan berbanding lurus dengan masukan analog. ADC yang digunakan untuk mengubah tegangan analog menjadi bentuk digital. ADC terdiri tiga jenis yaitu ADC jenis *binary counter* atau *ramp*, ADC jenis *flash*, dan ADC jenis *successive approximation register* (SAR)

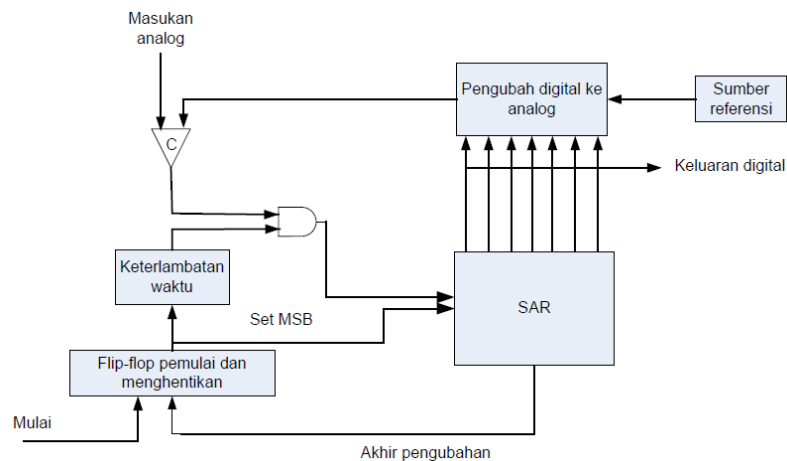
ADC jenis SAR pada dasarnya terdiri dari DAC, sebuah *comparator* (pembanding) analog, sebuah *control logic*, dan sebuah SAR. ADC dari jenis SAR memiliki keunggulan dalam hal kecepatan konversi sinyal jika dibandingkan dengan jenis *ramp*. Tetapi ADC jenis SAR memerlukan sebuah *register pengontrol* khusus untuk membuka pulsa-pulsa ke bit pertama, kemudian ke bit kedua dan seterusnya. Diagram blok dari ADC jenis SAR ditunjukkan pada Gambar 26 berikut.

Modulasi Digital

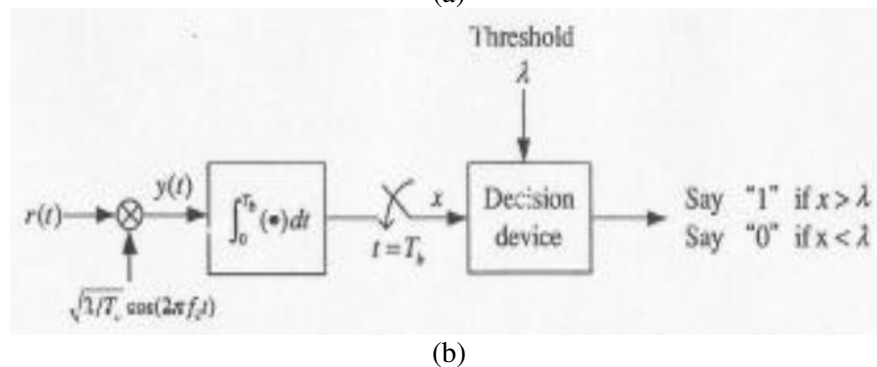
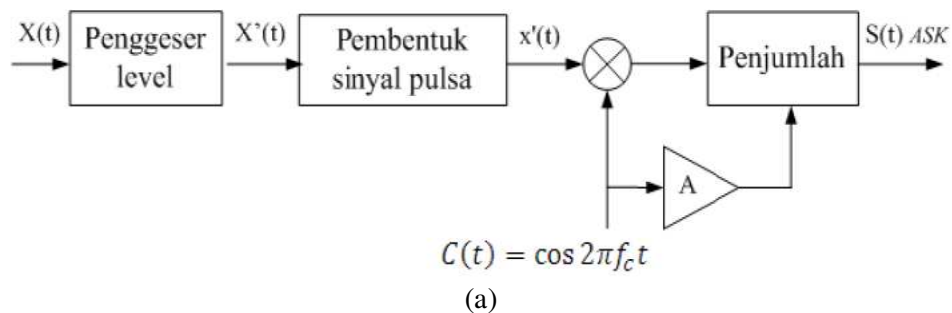
Modulasi digital adalah teknik pengkodean sinyal dari sinyal analog ke dalam sinyal digital (bit-bit pengkodean). Pada teknik ini, sinyal informasi digital yang akan dikirimkan dipakai untuk mengubah frekuensi dari sinyal pembawa. Dalam komunikasi digital, sinyal informasi dinyatakan dalam bentuk digital berupa bit biner "1" dan "0". Contoh dari modulasi digital adalah *Amplitude Shift Keying* (ASK), *Frequency Shift Keying* (FSK), dan *Phase Shift Keying* (PSK). Modulasi digital yang akan dibahas adalah modulasi digital ASK.

Modulasi digital *Amplitude Shift Keying* (ASK) adalah teknik modulasi dimana pengiriman sinyal digital berdasarkan pergeseran amplitudo. Sistem modulasi ini merupakan sistem modulasi yang menyatakan sinyal

digital 1 sebagai suatu nilai tegangan dan sinyal digital 0 sebagai suatu nilai tegangan yang bernilai 0 V. Sehingga dapat diketahui bahwa di dalam sistem modulasi ASK, kemunculan frekuensi gelombang pembawa tergantung pada ada tidaknya sinyal informasi digital. Modulasi digital ASK sering juga disebut sebagai modulasi *On-Off Keying* (OOK). Gambar 27 berikut ini menunjukkan diagram blok dari modulator dan demodulator ASK.



■ Gambar 26. Diagram blok ADC jenis SAR



■ Gambar 27. (a) Modulator ASK dan (b) Demodulator ASK [11]

Dalam modulasi ASK, amplitudo *carrier* tersaklar *ON* dan *OFF* sesuai dengan kecepatan sinyal pemodulasi. Sinyal direpresentasikan dalam dua kondisi perubahan amplitudo gelombang pembawa, yaitu logika “1” dan “0”. Logika “1” direpresentasikan dengan status “*ON*” (ada gelombang pembawa) sedangkan logika “0” direpresentasikan dengan status “*OFF*” (tidak ada gelombang pembawa). Dua kondisi tersebut menghasilkan sebuah sinyal yang termodulasi ASK. Persamaan sinyal ASK adalah sebagai berikut.

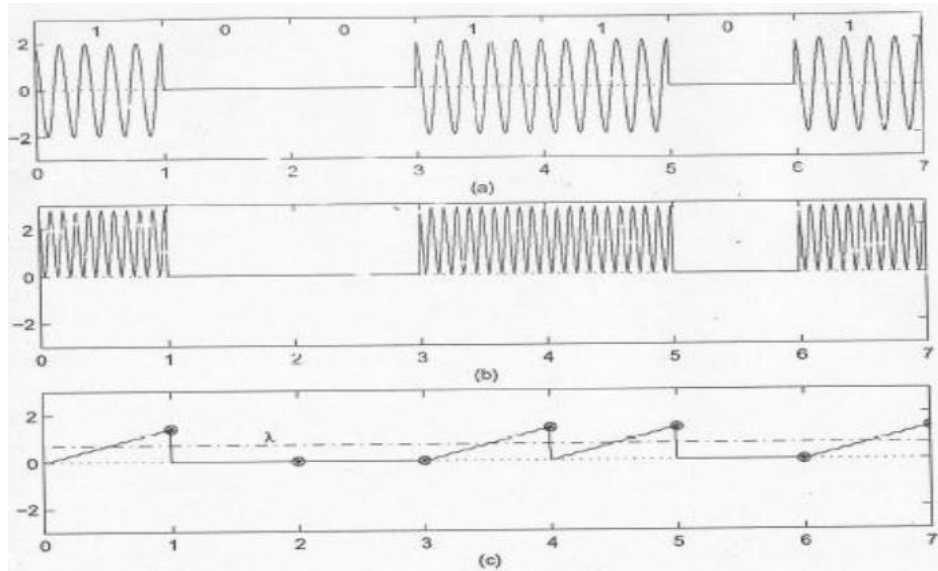
$$y(t) = s(t) \times 2/T \cos(2\pi f_c t) \dots\dots\dots 2.2$$

Modulasi digital ASK menggunakan dua buah sinyal $S_1(t)$ dan $S_2(t)$ untuk transmisi biner. Untuk transmisi bit 1 diwakilkan dengan sinyal $S_1(t)$ dan bit 0 dengan sinyal $S_2(t)$ digunakan pada interval $(0, T_b)$ yang ditunjukkan melalui persamaan berikut.

$$S_1(t) = \sqrt{E_b T_b} \cos 2\pi f_c(t) \dots\dots\dots 2.3$$

$$S_2(t) = 0 \dots\dots\dots 2.4$$

Sistem *transmitter* yang sederhana (untuk $0 \leq t \leq T_b$) hanya terdiri dari oscillator yang mempunyai gerbang *on* dan *off*. Gambar 28 berikut ini menunjukkan hasil gelombang yang ditransmisikan dari transmisi digital dari bit 1001101, dimana $E_b = 1$, $f_c = 5$ Hz, dan $T_b = 1$ s.



■ Gambar 28. (a) Sinyal transmisi, (b) Sinyal $y(t)$, dan (c) Sinyal $output$ [11]

HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS

Modul Catu Daya

Pengujian dari modul catu daya terdiri dari dua jenis pengujian. Pengujian pertama dilakukan tanpa beban dengan mengukur langsung tegangan keluaran dari modul catu daya, baik itu modul catu daya 5 V maupun modul catu daya 24 V. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah modul catu daya yang dirancang telah mengeluarkan tegangan yang sesuai dengan spesifikasinya.

Pengujian kedua dilakukan menggunakan beban. Berdasarkan hasil pengukuran, subsistem rangkaian elektronika (kecuali servo motor) dengan tegangan kerja 5 V menggunakan arus sekitar 50 mA, sehingga beban dari sistem berada di kisaran 100 Ω . Hasil pengukuran pada subsistem dengan tegangan kerja 24 V menunjukkan arus yang digunakan sekitar 100 mA sehingga beban dari sistem berada di kisaran 240 Ω . Pengujian ini dilakukan menggunakan beban 60 Ω hingga 140 Ω , sedangkan pengujian modul catu daya 24 V menggunakan beban 200 Ω hingga 280 Ω . Hasil pengujian modul catu daya 5 V dan 24 V dengan beban dan rata-rata untuk setiap modul catu daya ditunjukkan pada Tabel 5 berikut.

■ Tabel 5. Hasil Pengujian Modul Catu Daya 5 V dan 24 V dengan Beban

Keterangan	Modul Catu Daya 5 V			Modul Catu Daya 24 V		
	Beban (Ω)	Arus (mA)	Tegangan (V)	Beban (Ω)	Arus (mA)	Tegangan (V)
Pengujian ke-1	60	80.83	4.85	200	119.55	23.91
Pengujian ke-2	80	61.75	4.94	220	108.45	23.86
Pengujian ke-3	100	49.80	4.98	240	99.46	23.87
Pengujian ke-4	120	40.75	4.89	260	92.00	23.92
Pengujian ke-5	140	35.29	4.94	280	85.39	23.91

Modul Sensor Suhu

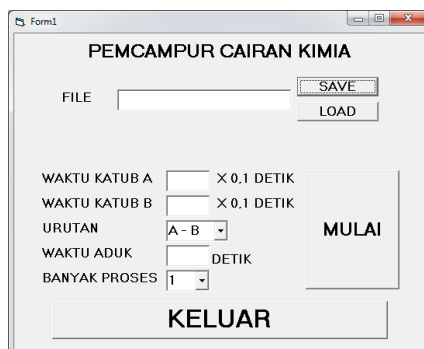
Pengujian modul sensor suhu bertujuan untuk mengetahui tegangan $output$ dari modul sensor suhu terhadap suhu yang diukur. Pengujian ini dilakukan dengan mengukur tegangan $output$ dari IC LM35 menggunakan multimeter digital disertai dengan pengukuran menggunakan termometer air raksa pada ketiak kanan dengan waktu yang bersamaan. Hasil Pengujian Modul Sensor Suhu seperti terlihat pada Tabel 6.

Sistem Keseluruhan

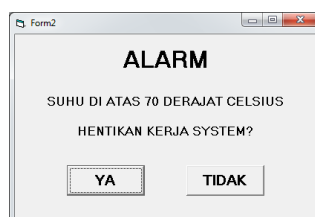
Pengujian keseluruhan sistem bertujuan untuk mengetahui apakah sistem berjalan dengan baik atau tidak. Hal ini dilakukan dengan melakukan uji coba terhadap alat yang dibuat. Langkah pertama adalah pemberian data pada PC berupa nama *file*, pilihan penyimpanan, waktu buka *solenoid valve* A dan *solenoid valve* B, urutan pencampuran antara bejana A dan bejana B, waktu pengadukan oleh alas putar, dan banyaknya pengulangan dengan jumlah maksimal empat). Setelah itu, tombol “MULAI” dipilih. Tampilan menu utama pada *software* dari alat yang dirancang ditunjukkan pada Gambar 29.

■ Tabel 6. Hasil Pengujian Modul Sensor Suhu

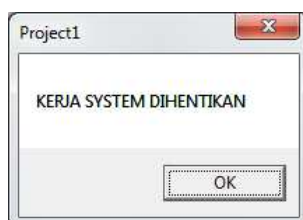
Keterangan	Suhu Termometer (°C)	Suhu pada IC LM35 (°C)	Tegangan pada Modul Sensor Suhu (mV)
Pengujian ke-1	36.9	36.88	368.84
Pengujian ke-2	37.1	37.06	370.57
Pengujian ke-3	37.1	37.06	370.64
Pengujian ke-4	37.0	36.94	369.43
Pengujian ke-5	36.9	36.88	368.80
Rata-Rata	37.0	36.964	369.656

■ Gambar 29. Tampilan menu utama *software* alat yang dibuat

Proses pencampuran berlangsung sesuai dengan data yang telah dimasukkan. Jika pada saat proses berlangsung terdeteksi suhu di atas 70°C, maka program akan menampilkan menu interupsi. Tampilan menu interupsi ditunjukkan pada Gambar 30. Pada menu interupsi ini terdapat pilihan apakah proses yang sedang berlangsung dihentikan atau tetap dilanjutkan. Jika proses dihentikan, maka sistem dari manipulator tangan robot akan berhenti pada proses terakhir dan akan muncul pesan yang menunjukkan bahwa kerja sistem telah dihentikan. Tampilan dari pesan ini ditunjukkan pada Gambar 31 berikut.



■ Gambar 30. Tampilan Menu Interupsi saat Suhu di Luar Batas Terdeteksi



Gambar 31. Tampilan Pesan Sistem Dihentikan

Setelah kembali ke menu utama, pengguna dapat menutup program dengan memilih tombol “KELUAR”. Data-data yang telah disimpan akan dimasukkan ke dalam *database* DATA_LAB yang telah terintegrasi dengan program. Tampilan dari *database* ini ditunjukkan pada Gambar 32 berikut.

NAMA	KATUB_A	KATUB_B	URUTAN	WAKTU_ADI	BANYAK_PR
1	20	20	A - B	5	1
coba_2	20	20	B - A	10	3
3	10	10	A - B	5	2
david	5	5	A - B	5	1

■ Gambar 32. Tampilan Data yang Telah Disimpan

KESIMPULAN

Manipulator tangan robotik yang dirancang dapat melakukan fungsi-fungsi dasar yang diperlukan dalam proses pencampuran larutan seperti proses persiapan larutan yang akan dicampur, proses penuangan, proses pengadukan, dan proses peletakan bejana berisi larutan hasil pencampuran ke dalam sebuah *batch*. Pengguna hanya perlu memasukkan data-data awal seperti nama *file* yang akan disimpan, waktu buka *solenoid valve* A dan *solenoid valve* B, waktu aduk, dan banyaknya pengulangan. Selanjutnya, sistem manipulator tangan robotik ini akan melakukan proses pencampuran sesuai dengan urutan yang telah ditentukan. Sensor suhu yang berada di dalam *glove box* berfungsi untuk memantau kondisi suhu di dalam *glove box* agar sistem dapat dihentikan saat diperoleh suhu di atas 70°C. Proses penghentian sistem ini juga harus mendapat persetujuan dari pengguna untuk memastikan apakah kondisi yang tidak normal tersebut memang tidak diinginkan oleh pengguna.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Institut Teknologi Bandung, "Penuntun Praktikum Kimia Dasar (KI-1111) Percobaan II Reaksi-Reaksi Kimia", tersedia di digilib.itb.ac.id/files/.../jbptitbpp-gdl-auliaqiran-26437-1-laporan-i.pdf (22 November 2012).
- [2] Universitas Sumatera Utara, "Pedoman Praktikum Kimia Dasar", tersedia di repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/608/1/08E00187.pdf (25 November 2012).
- [3] R. Boylestad and L. Nashelsky, *Electronic Devices and Circuit Theory*, 5th ed, New Jersey: Prentice-Hall International, 1992, pp. 773.
- [4] Georgia State University, "Electronic Devices and Circuits", tersedia di http://people.seas.harvard.edu/~jones/es154/lectures/lecture_2/diode_circuits/diode_appl.html (25 Februari 2013).
- [5] S.F. Barrett and D.J. Pack, *Atmel AVR Microcontroller Primer*, London: Morgan and Claypool Publisher, 2008, pp. 25.
- [6] M. Syafrizal, Pengantar Jaringan Komputer, Yogyakarta: Penerbit ANDI, 2005, pp. 2.
- [7] J. Keljik, *Electricity 4: AC/DC Motor, Controls, and Maintenance*, New York: Delmar Cengage Learning, 2008, pp. 5.
- [8] C. L. Xia, *Permanent Magnet Brushless DC Motor Drives and Controls*, Singapore: John Wiley and Sons, 2012, pp. 23.
- [9] Institut Teknologi Telkom, "Pulse Width Modulation", tersedia di http://digilib.itelkom.ac.id/index.php?option=com_content&view=article&id=820:pwm-pulse-width-modulation&catid=15:pemrosesan-sinyal&Itemid=14 (1 Maret 2013).
- [10] A. V. Deshmukh, *Microcontroller: Theory and Application*, New Delhi: McGraw-Hill, 2005, pp. 260.
- [11] M. J. M. Pelgrom, *Analog to Digital Conversion*, Eindhoven: Springer, 2013, pp. 7.
- [12] A. Yadav, *Digital Communication*, New Delhi: University Science Press, 2008, pp. 29.
- [13] L. Coe, *Wireless Radio: A Brief Story*, North Carolina: Photodisc, 2006, pp. 156.